המחשב - מבט לעתיד

פרסומי איל"א / סדרה כללית

כרך 12

הופיעו בסדרה זו:

כרך 1 — סימפוזיון בינלאומי על עיבוד נתונים, 1968
כרך 2-3 — בלשנות חישובית, 1969
כרך 4 — מחשבים ורפואה בישראל, 1970
כרך 5 — מינהל כוח אדם, 1971
כרך 6 — המחשב בשרות הבנקים, 1971
כרך 7 — כוח אדם למחשבים, 1971
כרך 8-9 — מחשבים קטנים, 1972
כרך 10 — מודלים של בקרה פיזית וניהולית, 1972
כרך 11 — איסוף נתונים, 1973

המחשב - מבט לעתיד

הרצאות שניתנו בערב עיון שנערך ב-9.3.1972, במלאת 100 שנה
לפטירת צ׳ארלס באבג׳ - CHARLES BABBAGE

העורך: אלון גילון

איל״א – איגוד ישראלי לעיבוד אינפורמציה / ירושלים

צילום והדפסה "גרפיקס" בע"מ ירושלים

התוכן

דברי פתיחה

פרופ' ח. חנני

- גבירותי ורבותי, בשם איל"א אנחנו עורכים את הערב הזה לזכרו של צ'ארלס באבג' (Babbage) אשר תרם רבות למדעי המחשב.

המרצים הערב יהיו פרופ' רוכמן, ופרופ' רבין. הרשו לי בהזדמנות זו לברך בשמי אני, בשם איל"א ובשם כולכם את פרופ' מיכאל רבין, לרגל מינויו לרקטור של האוניברסיטה העברית.

הערב הזה מוקדש למחשבים. היום קשה לנו לתאר לעצמנו מחשבים בלי אלקטרוניקה, אבל לאמיתו של דבר הרעיונות הראשונים על המחשבים, הן מחשבים אנלוגיים והן סיפרתיים, נולדו לפני שהיה ידוע השימוש באלקטרוניקה ואף בחשמל.

אם נתחיל במחשבים אנלוגיים, הרי המחשב הפשוט ביותר מסוג זה הינו הסרגל הלוגריתמי שבו מתרגמים את המספרים, את הערכים המספריים, לקטעים, מחברים את הקטעים ועל-ידי כך מקבלים תוצאות לא מדוייקות, אבל במקרים רבים מספקות לגמרי. מובן מאליו שסרגל לוגריתמי לא קשור לגמרי באלקטרוניקה ואנחנו יודעים יפה להשתמש בו.

יש גם מחשבים אנולוגיים אחרים, נוסף על מחשב לוגריתמי, שאומנם אינם נקראים מחשבים, ומשתמשים בהם בכוח הידראולי, או בגיאומטריה.

יש הרבה דיאגרמות שמהן אפשר לקבל תוצאות של חישובים די מסובכים, על-ידי הזזה, או על-ידי העברת ישר; ואם כי התוצאות אינן מספריות, הרי במקרים רבים הן מספקות לגמרי.

גם מחשבים אלקטרוניים אנלוגיים אינם מדוייקים, וגם הם נותנים בדרך-כלל את הערך המקורב יותר טוב מאשר סדר גודל, אבל בדרך-כלל אין זה מספיק לשם קבלת תוצאות חישוביות. עם זאת מקבלים מושגים די מתקבלים על הדעת, ודי שימושיים, על התפתחות של פונקציה, על צורה של פונקציה, ועל הצורה הכללית של התוצאה שאנחנו מחפשים.

גם בין המחשבים הספרתיים, אנחנו מכירים הרבה מחשבים שאינם אלקטרוניים, כגון הדסקקלקוליירס מכל הסוגים, והמחשב הפשוט והמוכר ביותר הנקרא בלטינית אבקוס, וברוסית שוטה. מחשב זה הוא נוח מאד, ודי מהיר למי שרגיל אליו; הוא נמצא בשימוש רב עד היום, הן ברוסיה והן במזרח הרחוק. במערב הפסיקו כמעט להשתמש בו עם המצאת מכונות החישוב.

הראשונים שעסקו במכונות חישוב היו, פסקל ולייבניץ. ואם כבר מדברים בהיסטוריה, כדאי להזכיר את זה. המכונות היו פשוטות, ואיפשרו בדרך-כלל חיבור, לפעמים גם כפל, וכמובן על-ידי חיסור אפשר בקלות להגיע גם לחילוק. ההבדל העיקרי בין המכונות האלו לבין המכונות שבהם טיפל באבג׳, הוא בכך שהמכונות של באבג׳ הכילו זיכרון. וזה היה הצעד הגדול והחשוב במעבר למחשבים כפי שאנחנו מכירים אותם כיום.

המכונות הראשונות שתיכנן באבג׳, ואני חוזר, היו מכונות ספרתיות, מחשבים, המונעים בכוח מכני, בלי אלקטרוניקה. המכונות הראשונות שהוא תיכנן ובנה היו מכונות להפרשים.

כולכם יודעים, שהדרך הבדוקה והטובה ביותר, לבדיקת לוח לוגריטמים היא הבדיקה של הלוחות על-ידי הפרשים, הפרש ראשון, הפרש שני, לפעמים שלישי ורביעי. וההפרשים האלה אם הם מתנהגים באופן יפה, אם אין קפיצות בהפרשים אלה, הרי זו הוכחה די סבירה שעל-כל-פנים אין שגיאות גדולות בלוח.

גם בלוחות לוגריתמיים כשאנו קוראים אותם היום, בדרך כלל נמצא בהערות שהלוגריתמים נבדקו, ואחרי כן נבדקו פעם נוספת על-ידי ההפרשים או ההפרשים השניים.

באבג׳ ניסה למצוא דרך לחשב את ההפרשים האלה בצורה אוטומטית, ותיכנן מכונה אשר חישבה באופן אוטומטי את ההפרש הראשון, השני השלישי וכך הלאה.

המכונה שהוא תיכנן, היתה צריכה להיות מכונה שעבדה על מספרים בעלי 20 ספרות ונתנה אפשרות לחשב את ששת ההפרשים הראשונים. מובן מאליו, שמכונה מכנית כזאת היא מכונה מאד מסובכת, והדבר נתקל בקושיים מכניים

כל כך גדולים, שבסופו של דבר המכונה לא נבנתה אף פעם.

עכשיו, וגם אז, אפשר היה לבנות באופן טכני מכונה בערך בסדר גודל חצי מזה, חצי בכל המובנים. זאת-אומרת, בערך 10 ספרות והפרשים עד להפרש הרביעי. מכונה יותר מסובכת נתקלת בקושיים של חיכוך ומספר חלקים. באופן טכני לא הצליחו להתגבר עד היום על הקושיים שבעיבוד כה מדוייק של מספר חלקים כה גדול כפי הנדרש.

גדולתו של באבג׳ היתה בזה, שהוא פיתח את הרעיון של המכונה הזאת, מכל הכיוונים, הן הרעיון עצמו, הן הלוגיקה של המכונה, והן הצד הטכני-הנדסי. עד כדי כך שהוא שירטט, או נתן הנחיות לשירטוט של החלקים הקטנים ביותר של המכונה הזאת, ואף בנה והפעיל מכונות יותר קטנות.

מכונת ההפרשים, היתה אצלו הצעד הראשון. אבל עוד בטרם נבנתה מכונה זו הוא חשב על מכונה יותר כללית, וקרא לה מכונה אנליטית.

המכונה האנליטית היא למעשה אב מכני של המחשב שלנו. המכונה היתה בנויה בצורה כזאת שאפשר היה לכוון אותה בכיוון הרצוי, אפשר היה לתת לה מראש הוראות איך לפתור בעיה מסובכת, ואחרי כך למסור לה את המספרים הדרושים לפיתרון הבעיה. המכונה ידעה לפתור את הבעיה אפילו אם לשם כך היה צורך במספר ניכר של צעדים.

זאת היתה מכונה שאפשר היה להנחות אותה איך לפתור בעיה, והמכונה עבדה, מרגע מסויים, באופן עצמאי. בזה שונה מכונה זו ממחשבי יד שאנחנו משתמשים בהם. וזה היה דגם אב של מחשב.

באבג׳ היה איש מוכשר מאד, והוא עבד בכיוונים רבים, קצת מפליא שאדם כה מוכשר ורב גווני, ידע להסתגר בבעיה שהיא לאמיתו של דבר, לאחר שהרעיון הראשון ניתן, ולאחר שהסקיצה של המכונה הראשונה שורטטה, די משעממת. בכל זאת הוא עבד על המכונה הזו שנים רבות, ונתן לנו דוגמה יפה איך על-ידי עקשנות ועבודה קשה אפשר להגיע לתוצאות שרק לאחר מאה שנה מצאו את פיתרונן הסופי, והאפשרויות לביצוען, הודות להתפתחות האלקטרוניקה שעליה הוא לא ידע דבר.

באבג׳, נולד בשנת 1792 ונפטר בשנת 1871. כעת מלאו מאה שנה לפטירתו וראוי באבג׳, שלזיכרו, ניזכר בהתחלת פיתוח המחשב, הן מבחינה רעיונית והן מבחינה טכנית, ושנסתכל מה קרה מאז תיכנן הוא את המכונה הראשונה.

התפתחות המחשב

ש. רוכמן

למרות שפרופ' חנני נגע כבר בתרומות העיקריות של באבג' (Babbage) הייתי רוצה לעמוד על הרקע שהביא את באבג' להגות את רעיונותיו וכמה מהדברים המעניינים שאירעו במשך פיתוחם.

באבג' למד מתמטיקה באוניברסיטת קמברידג' החל משנת 1810. זאת לא היתה תקופת פריחה במתימטיקה באנגליה, שהיתה מבודדת מהעבודה המעניינת באנליזה שהתנהלה אז באירופה, ולכן לא התעניין באבג' בצד האקדמי וגם לא לימד כלל. למרות זאת מונה בתור פרופיסור ב-1828 והמשיך לכהן כ-11 שנה- תקופה בה הוא ביצע את רוב עבודתו היוצרת.

עוד בהיותו סטודנט הקים באבג', יחד עם שני חברים, את "האגודה האנליטית" שמטרתה היתה להחדיר לאנגליה את הסימון של ליבניץ בחשבון דיפרנציאלי במקום זה של ניוטון. את רעיונו הראשון למחשב הגה באבג' בחדרי האגודה בשנת 1812. בימי הרפובליקה הראשונה הוקם בצרפת פרוייקט גדול לחישוב טבלאות מתימטיות שאורגן בשלושה צוותות:

א. קבוצה של כ-5 מתמטיקאיים שבחרו בשיטות ומישוואות מתאימות.
ב. קבוצה של כ-10 חשבים לחישוב ערכי מפתח של הפונקציות.
ג. קבוצה של כ-100 עוזרים לחישוב הטבלאות על-ידי אינטרפולציה.

את עבודת השיגרה של הקבוצה האחרונה רצה באבג' לבצע אוטומטית על-ידי מכשיר שכינה "מכונת ההפרשים" (Difference Engine). אחרי שבנה דגם לעריכת טבלאות של פולינומים מדרגה שתיים בדיוק של שמונה ספרות עשרוניות, הוא קיבל תמיכה מממשלת בריטניה לפיתוח מכשיר הרבה יותר מתקדם: פולינומים מדרגה 7, דיוק של 20 ספרות, הדפסה אוטומטית. בפרוייקט זה השקיעה הממשלה בסוף 17 אלף לירות שטרלינג, סכום נכבד מאד בימים ההם. העבודה החלה ב-1823, הופסקה אחרי 10 שנים עקב מחלוקת בעניני תקציב עם מהנדס הפרוייקט, וב-1842 הפרוייקט בוטל. כשפרש המהנדס הוא לקח אתו את כל הכלים והמכשירים המיוחדים שהכין ואת צוות אומן פיטר, הכל לפי החוזה שחתם עם באבג'.

היות והמכניקה העדינה לא היתה אז מפותחת מספיק כדי לעמוד בדרישות החמורות של "מכונת ההפרשים" היתה זו מכה קשה שבאבג׳ לא הצליח להתגבר עליה. חלק מהמכשיר הושלם והוצג בתערוכה ב-1862.

באבג׳ כמעט ולא פירסם דבר ועבודתו נודעה מתוך מאמרים של אחרים ששמעו ממנו והעלו את הדברים על הכתב. ב-1834 הופיע מאמר של דר׳ לרדנר בו הוא מפרט את עקרונות הפעולה של "מכונת ההפרשים". כתוצאה תיכנן שבדי בשם ג׳יאורג שאיץ (Georg Scheutz) מכונה דומה ובנה דגם שהוצג באקדמיה השבדית למדעים ב-1843. הוא קיבל מענק מממשלת שבדיה לבנות מכשיר סופי בעל דיוק של 14 ספרות בפולינומים מדרגה 4, שהושלם והוצג בשנת 1855. באבג׳ עודד את שץ ונתן פירסום לעבודתו. הממשלה הבריטית הזמינה עותק של המכשיר השבדי ששימש לרשם הכללי בהדפסת טבלאות חיים מדפוס שהוכן אוטומטית על-ידי המכונה.

אחת הסיבות שהעבודה ב"מכונת ההפרשים" לא חודשה, היא שבאבג׳ בינתיים העלה קונצפציה הרבה יותר מושלמת של מחשב הידוע בשם "המכונה האנליטית". מבחינה עקרונית ופונקציונלית לא נופלת מכונה זו מהמחשב המודרני, ומרכיביה העיקריים הם:

א. זיכרון לאיחסון מספרים (בשורות של גלגלים עשרוניים).

ב. יחידה אריתמטית (אקומולטור עם העברת נשא מואצת).

ג. יחידת בקרה המכילה שני מנגנוני ז׳קרד (Jaquard), כל אחד בנוי משרשרת כרטיסים מנוקבים הקשורים זה לזה בחוט והשרשרת נעה על פני צילינדר שחתכו מרובע. מנגנון אחד קובע את סדר הפעולות ביחידה האריתמטית, והשני בורר את המספרים מהזיכרון.

ד. קלט ידני - (1) שורה של גלגלים עשרוניים
(2) כרטיס מנוקב לקריאה

ה. פלט - (1) ניקוב כרטיס
(2) הדפסת טבלה
(3) עריכת דפוס

גודל הזיכרון הרצוי הוגדר כ-1000 מלים של 50 ספרות עשרוניות, ומסיבות מעשיות צומצם אחר כך ל-200 מלים של 25 ספרות. מהירות החישוב הצפויה בדיוק של 50 ספרות מתבטאת בשניה לפעולת חיבור או חיסור, דקה לפעולת כפל או חילוק.

המחשבות של באבג' בעניין התיכנון עבור "המכונה האנליטית" והשימוש בה גם הן ידועות לנו מפירסומי אחרים. בשנת 1940 הוזמן באבג' לאיטליה לדון ברעיונותיו עם מתמטיקאיים איטלקיים, ביניהם קצין צעיר בחיל ההנדסה ושמו מנבריה (Menabrea) שהעלה על הכתב את דברי באבג' ופירסם אותם ב-1842. ליידי לובלס (Lady Lovelace), בתו היחידה (החוקית) של המשורר האנגלי הידוע, לורד בירון (Lord Byron), תירגמה את מאמרו של מנבריה לאנגלית, הוסיפה פי שלוש חומר משלה, ופירסמה את הכל בשנת 1843 ב- Taylor's Scientific Memoirs . ליידי לובלס הכירה היטב את באבג' ממנו קיבלה עידוד בתירגום וכתיבת החומר הזה המעיד על כישרונה והבנתה המעמיקה בתיכנון ואנליזה נומרית.

הרעיון הבולט בשטח זה הוא השימוש בפעולות על-תנאי (conditional operations) כדי לבצע באופן אוטומטי תהליכים איטרטיביים. ליידי לובלס מדגימה ביצוע פעולה שחוזרת על עצמה מספר פעמים ידוע מראש על-ידי תוכנית לחישוב מספרי ברנולי (Bernoulli). בחישוב Bn , מספר ה- n של ברנולי, צריך לעבוד סידרה מסויימת של פעולות n+1 פעמים. בתחילת החישוב מכניסים את המספר n לרגיסטר. בכל לולאה חוזרת מחזירים יחידה מהרגיסטר ובודקים את תוכנו. כל זמן שהוא לא שלילי, פעולת קפיצה על-תנאי מחזירה את התוכנית להתחלת הלולאה. אחרי n+1 איטרציות, תוכן הרגיסטר יהיה שלילי ופעולת הקפיצה על-תנאי תאפשר לתוכנית להתקדם לחישוב הבא במקום להמשיך ולחזור על אותה לולאה. תוכנן לבצע פעולת קפיצה ב"מכונה האנליטית" על-ידי הנעת שרשרת הכרטיסים הקובעת את סדר הפעולות קדימה או אחורה מספר מקומות קצוב באמצעות תוכן של רגיסטר או ניקוב בכרטיס. ומה אם מספר האיטרציות לא ידוע מראש? ליידי לובלס מביאה הסבר מפי באבג' בו הוא מדגים איך המחשב מסוגל להפסיק אוטומטית תהליך איטרטיבי באמצעות פיתרון משוואה בשיטת הורנר (Horners Method). ההחלטה האם להמשיך באיטרציות או להפסיק תהליך זה שוב, מתבצעת על-ידי

פעולת קפיצה על-תנאי אבל הפעם היא תלויה בסימן מספר שלא הוכנס במיוחד למטרה זו, אלא מופיע כתוצאה טבעית של החישוב. מעניין שגם בשאלת "האינטליגנציה המלאכותית" של אוטומטים, השרויה במחלוקת עד היום הזה, דנה ליידי לובלס במאמרה. דעתה היא חד-משמעית:

The Analytical Engine has no pretensions whatever to originate anything. It can do whatever we know how to order it to perform

באבג' השלים תיכנון מפורט של "המכונה האנליטית" אבל לא הספיק לבנות חלק ניכר ממנה לפני פטירתו בשנת 1871. בנו המשיך בבניית היחידה האריתמטית, השלים והפעיל אותה ב-1906, אך לא הצליח לקבל את התמיכה הדרושה להשלמת הפרוייקט. השירטוטים והרישומים המפורטים שבאבג' ערך אודות "המכונה האנליטית", יחד עם היחידה האריתמטית, נמצאים היום במוזיאון המדעי של קנזינגטון הדרומית.

אחרי תקופתו של באבג' חלה התפתחות עצומה במכונות חישוב וציוד אלקטרומכני באמצעות בכרטיסים מנוקבים להנהלת חשבונות וסטטיסטיקה. עבודתו המעניינת של באבג' נשכחה, וב-1937 עלה על דעתו של אייקן (Aiken) מאוניברסיטת הרוורד רעיון עצמאי שבמרכיבים ובטכנולוגיה של ציוד אלקטרומכני זה ניתן לבנות מכונת חישוב אוטומטית. הוא פנה לחברת י.ב.מ., ובעזרתה הנלהבת יצר את מרק I , (MARK I) שנחנך ב-1944. המחשב האלקטרוני הראשון, אניאק (ENIAC), הושלם באוניברסיטת פנסילבניה ב-1945 על-ידי אקרט ומוקלי (Eckert and Mauchly), ובאותה שנה ניסח פון-נוימן בשם הקבוצה באוניברסיטה זו הצעה לבניית אדבק (EDVAC), המחשב הראשון שהגשים את רעיונותיו של באבג' בצורה אלקטרונית. פון-נוימן, שנחשב לאבי המחשב המודרני, המשיך לפתח מחשב מקביל משלו בפרינסטון. האדבק הושלם ב-1949; מחשב דומה בשם אדסק (EDSAC) נבנה באוניברסיטת קמברידג' שבאנגליה ב-1950 על-ידי ווילקס (Wilkes). ב-1953 הושלם המחשב של פון-נוימן, ועותק ממנו נבנה במכון ויצמן ב-1954 על-ידי אסטרין. בזה גמרתי את החלק ההיסטורי פרט להערה של מקרתי (McCarthy):

"Curiously, it does not seen that the work of either Turing or Babbage played any direct role in the labors of the men who made the computer a reality"
Scientific American Sept. 1966

נעבור עתה לנושאים שוטפים בהתפתחות המחשב האלקטרוני שלהם יש השלכות לגבי העתיד. אקדים את דברי בהשקפה קצרה על תהליך הפיתוח של שטח זה, הגורמים הטכניים העיקריים, וההשפעה ההדדית ביניהם. מלכתחילה היה מבנה מערכת הציוד תלוי ומושפע מאמצעי המימוש הקיימים (טכנולוגיה, רכיבים) מצד אחד, ומדרישות הפעלה ויישום (שיטות ומערכות תיכנות, שיטות מתמטיות ונומריות) מצד שני. אבל בזמן האחרון חלו שני שינויים בעלי משמעות. האצת מהירות המעגלים והקטנת גודלם הפיסי, ביחוד האינטגרציה בקנה מידה גדול (LSI) הידקה בהרבה את הקשר בין הארכיטקטורה של המחשב וטכנולוגיות המימוש. והאוטומציה הגוברת בתיכנון וייצור מערכות סיפרתיות הופיעה בתור גורם חשוב נוסף שנמצא באינטראקציה חוזרת עם שלושת הגורמים הקודמים. נראה שפיתוח מחשב משוכלל יחייב בעתיד שליטה מוחלטת של המפתחים בטכנולוגיות מימוש מתקדמות, ובמערכת אוטומציה מתקדמת. על-כל-פנים, תהליך אינטראקטיבי זה עוד לא מתקרב לרוויה והתחזית היא להתפתחות נמשכת במהירות, עוצמה, גודל ומחיר.

על רקע חומר זה, נתייחס לנושאים ספציפיים. בתחום הזיכרון המרכזי שולט זה 15 שנה הזיכרון בטבעות פריט. לפני 10 שנים כבר שמענו שהוא לא יחזיק מעמד. סכומים גדולים ומאמץ רב הושקעו באמצעי זיכרון חדשים, כגון ברומיים מגנטיים דקים, חוט קלוע (מצופה חומר מגנטי), זיכרון קריוגני, וכולם ירדו מהפרק. אבל כנראה שהזיכרון הפריטי סוף סוף מצא לו תחליף והוא הזיכרון בחצי-מוליך מונוליתי. וייתכן ששניהם יהיו יחד זמן רב, אבל הזיכרון המונוליתי הולך ומתגבר. הוא הופיע בשני סוגים, ה- MOS והדו-פולרי (Bipolar). מבחינה טכנית התברר מיד שיש יתרון ניכר ל- MOS בגודל, הספק, ומחיר, ואם כן הוא המועמד הרציני לזיכרון העיקרי, בעוד ששימושו של הדו-פולרי יהיה מוגבל ליחידות זיכרון עזר, קטנות יחסית, שבהן דרושה מהירותו הגבוהה יותר. אבל באה חברת י.ב.מ. והחליפה את היוצרות - הזיכרון המונוליתי הראשון שהוציאה הוא דו-פולרי ומשרת מחשב איטי יחסית, זהו ה-370/135. העולם התחיל לשקול מחדש האם הערכתם של שני הסוגים היא נכונה. אבל האמת היא שזאת לא הפעם הראשונה שי.ב.מ. הלכה בדרך

לא מובנת. באמצע שנות השישים הוציאה י.ב.מ. את משפחת המחשבים 360 כשהיא בנויה ממעגלים היברידיים וגם אז נכנס העולם למבוכה היות שכבר היה ידוע שלמעגלים האינטגרליים יש יתרון ברור. אבל היום רואים אנו שזאת היתה תופעה זמנית, י.ב.מ. לא המשיכה בכיוון הזה ומשפחת 370 בנויה ממעגלים אינטגרליים. כנראה שכוח השיווק והייצור העצומים של י.ב.מ. מרשה לה לעתים להחליט לפי שיקולים פנימיים והיא לא תלויה בהתפתחות והזרם הכללי. אם כן עדיין נראה לי שה- MOS יתפוס את המקום הראשון בזיכרון מרכזי. ה- MOS עצמו מתחלק לסוגים, קומפלמנטרי ולא-קומפלמנטרי, סטטי ודינמי. כעת הדינמי הלא-קומפלמנטרי הוא הכי נפוץ אבל עוד לא ברור אם זהו הכיוון לטווח ארוך.

נספיק אולי לעמוד על עוד שני נושאים. כמעט מתחילתו של המחשב קיים המושג של היררכיה בזיכרון. אבל לפני כמה שנים הופיע הרעיון של זיכרון עזר אסוציאטיבי מהיר המכונה קאש (Cache) שמבחינת המשתמש הוא "שקוף", כלומר לא מרגישים בו, אבל בתנאי עבודה רגילים הוא כאילו מעלה את מהירות הזיכרון הראשי לקירבת מהירותו הוא. הרעיון מומש לראשונה במכונת י.ב.מ. 360/85, ובמחשב החדש של אוניברסיטת מנצ׳סטר, הוא מופיע בשתי דרגות של ההיררכיה. הרעיון יפה מאד, אולם השאלה היא אם הוא מושג עקרוני שישאר בארכיטקטורה לאורך ימים, או שערכו מבוסס על יחס מסויים של מהירות ומחיר בין זיכרון העזר והזיכרון הראשי? קשה עדיין לענות על שאלה זו, אבל ברור שכל זמן שיחס זה יתקיים ימשיך הקאש לשחק תפקיד חשוב.

לבסוף אתייחס להתפתחות תחום התוכנה הזעירה (Microprogramming) מתוך רעיון שהעלה ווילקס בשנות החמישים. זאת דוגמה טובה לעובדה המעניינת שרוב הרעיונות החשובים בהתפתחות המחשב עלו בתחילת הדרך. אפשר להביא דוגמאות נוספות מתרומותיו של פון-נוימן, אבל בטוחני שפרופ׳ רבין יעמוד עליהן. רעיון התוכנה הזעירה הוא שניתן לפרק את עבודת הבקרה הראשית למספר סביר של פעולות זעירות אלו. במימוש המקורי של ווילקס קבעה מטריצה של דיודות את מערכת הפקודות. ניתן אם כן לשנות את מערכת הפקודות הקובעת את כל אופי המחשב, על-ידי שינוי או החלפת המטריצה - וזאת גמישות חשובה. התפתחות הזיכרון המונוליתי והאינטגרציה בקנה מידה גדול הפכו רעיון זה לתחום חשוב של הארכיטקטורה המודרנית, שכן ניתן

באמצעות זיכרון מונוליתי קטן, מהיר וזול יחסית, לממש את מערכת הפקודות כתוכנית פעולות זעירות המאוחסנת בו. במקרה זה ניתן לשנות את אופי המחשב אוטומטית על-ידי החלפת התוכנית מהזיכרון הראשי! הרעיון הורחב להיררכיה שלימה של דרגות תוכנה זעירה, הוא יושם ביחידות בקרה אוניברסליות למכשירי קלט-פלט, ונראה שהתפתחותו עדיין בעיצומה.

ומה העתיד של שיטת חלוקת-הזמנים ורעיון הקמת רשת של מחשבים?
על שאלות אלו ונושאים חשובים אחרים שלא הזכרתי ודאי יעמוד פרופ' רבין.

תיאוריה, מעשה, ותצפיות בתחום המחשבים

פרופ' מ. רבין

גם אני משתתף בקפיצה זאת מאמצע שנות ה-50 של המאה שעברה עד אמצע המאה הנוכחית, ומגיע לשלהי מלחמת העולם השניה. תקופת מלחמת העולם השניה היתה במובן מסויים תור הזהב למדע ולטכנולוגיה.כל אחד יודע שמספר פיתוחים מדעיים יסודיים נעשו לשם המאמץ המלחמתי של בנות הברית. תופעה מעניינת שכמעט לא נשנתה אחרי כן, ויש לכך אולי סיבות סוציולוגיות, מוסריות והיסטוריות,שכן אז היה בפריחתו הטיפוס של איש המדע-המהנדס.

ראינו תופעה של אנשי מדע ממדרגה ראשונה כמו, פרמי, ויגנר, ויורי במדע האטומי ומתימתיקאיים כמו פון-נוימן, כשהם מפנים את מאמצאיהם לפיתוח טכנולוגי. כך למשל, פיתוח הפצצה האטומית היה בעיקרו של דבר בעיה טכנולוגית. או למשל בתחום המתימטיקה, פון-נוימן וחבריו - הוא אולי הבולט שבהם - ניסו ליישם שיטות מתימטיות לפיתרון בעיות טכנולוגיות.

בפיתוחים מדעיים שהיו לאחר מכן, ואפילו בתוכנית החלל לא נמצאו אנשים באותה רמה, זה הביא לדעתי לכיוון אחר לגמרי של השיטות ולפעמים גם של התוצאות. התברר שכאשר אנשים בקנה מידה של פון-נוימן מפנים את מאמציהם לבעיה שהיא גם הנדסית, הם מצליחים להשיג תוצאות שלפעמים לא הצליחו המהנדסים להשיגן.

פון-נוימן התחיל להתעניין בבעיות של חישובים בקנה-מידה גדול בעיקר דרך בעיות של הידרו-דינמיקה. הרעיון המדריך היה שהמישוואות הדיפרנצליות החלקיות המופיעות בהידרו-דינמיקה, ושאינן ליניאריות, הינן כה סבוכות שלא נמצאו שיטות כיצד לגשת אליהן.

הרגשתו היתה שאם הוא ייִשם את השיטה הנסיונית דהיינו,שיפותו הלכה למעשה דוגמאות של מישוואות מסוג זה, הרי ייתכן שמתוך ההומר הנסיוני הזה, תהיה גישה גם לפיתוח של תיאוריה בתחום ומסויים זה של המתימטיקה.

אינני זוכר בדיוק את השנים, אבל בערך בשנת 1943, אולי 44, פיתחו ב-Moore School of Elect.Engin. בפילדלפיה, מכונה שנקראת בשם אניאק (ENIAC), המחשב האלקטרוני הראשון שהוזכר על-ידי המרצה שלפני.

פיתוח זה מומן על-ידי הצבא האמריקאי ומפקח הפרוייקט היה הרמן גולדשטיין. גולדשטיין היכיר את פון-נוימן מתקופה של שיתוף פעולה במכון ללימודים מתקדמים שבפרינסטון , שני המדענים שיתפו פעולה בתחומים מתימטיים טהורים לגמרי. גולדשטיין סבר שפון-נוימן יוכל לתרום גם לאניאק, והביאו לראות את המחשב. מחשב זה היה מבוסס על שפופרות אלקטרוניות, וכבר נמצאו בו כמה מהמרכיבים ומהאירגון היסודי של מחשבים כפי שהם כיום: יחידה אריטמטית, יחידת בקרה, קלט-פלט וזיכרון שהיה קטן ביותר. כפי שכבר נאמר, התבסס הכל על שפופרות אלקטרוניות ושפופרות רדיו. גם שמירת ה-Bit של המספרים או האינפורמציה שרצו לאגור בזיכרון, נעשתה בשיטה זו ולכן, בגלל מגבלות ברורות, הכיל זיכרון זה כמה עשרות מלים בלבד.

מאידך, היו שם כמה רעיונות מודרניים ביותר, דווקא בגלל מגבלות מהירות ואירגון, מצאו מתכנני האניאק לנכון להכניס לתוך המחשב מידה רבה של פרלליזם, היו שם בין 10 ל-20 יחידות אריטמטיות שיכלו לעסוק בחיבור, ומספר יחידות שיכלו לעסוק בכפל של מספרים, כשפעולות החיבור והכפל נעשו בצורה סידרתית מול הספרות .

חשובים ביותר לסיפורינו היו האמצעים לאגירת טבלאות של פונקציות. המחשב תוכנן כך שפונקציות מסויימות המהוות נתונים או שרוצים לחשבן צריך להשתמש בהן באופן שתוך כדי חישוב יאגרו בתוך טבלאות מיוחדות לכך (אגירה בזיכרון כפי שתואר). הפעלת השיטה נעשתה בעזרת מתגים שאפשר היה להפעילם ביד. כשמדובר בפונקציה נתונה מבחוץ.

תיכנות המחשב לצורך ביצוע חישוב נעשה על-ידי חיבור נקודות שונות בלוח בעזרת תקעים וחוטים.

כלומר, היה לנו כאן מחשב אוטונומי אחרי שקבעו לו את התוכנית, אך אי-אפשר היה לאמר שהוא בעל תוכנית אגורה, בעיקר מפני ששיטת אגירת התוכנית היתה שונה לחלוטין משיטת אגירת המספרים והאינפורמציה האחרת.

פון-נוימן שהתעניין מאוד במחשב בדק אותו וחשב עליו, הציע להשתמש בטבלאות הפונקציות בתור מרחב אגירת התוכנית.

לשם כך צריך היה לבצע שינויים מסויימים וייתכן שהיה זה אחד המקרים הראשונים בו נבנה אינטר פייס, חלקים ויחידות נוספים ניבנו והביאו את המצב לידי כך שעל-ידי הפעלת המתגים האלה היו אוגרים את התוכנית בזיכרון שבעצם היה מיועד לאגירת ערכי פונקציה, דרך האינטר פייס הזה, התוכנית האגורה היתה מפקחת על פעולת המחשב.

אחת החומות שעמדה בפני המושגים הבסיסיים של המחשב המודני נפלה כאן, היה זה ההפרש שהיה קיים קודם לכן, בין נתונים מספריים (DATA) לבין פקודות.

זהו צעד שכיום נראה לנו ברור לחלוטין ומהווה גם מקור לטעויות, פקודה, מספר או יחידת אינפורמציה יכולים להיות זהים. למעשה, מבחינת ייצוג פיזי הם מופיעים באותה צורה, וזו היתה תרומתו של פון-נוימן באותה נקודה.

אביא בהמשך שם נוסף, אלן טיורינג, ואומר משהו לגבי המקור האפשרי לרעיון הזה בתודעתו של פון-נוימן.

מכאן, עשה פון-נוימן צעד נוסף, ותיכנן מחשב בשיתוף עם קבוצת ה- Moore School מחשב בשם אדבק (EDVAC).

הקפיצה העיקרית קדימה היתה בגידול הדרמטי שבאפשרויות הזיכרון, ל- Eckert שהיה באותה קבוצה היה רעיון להשתמש בקווי השהייה אקוסטיים אשר בהם שומרים סיגנל בתוך עמוד של כספית. בשיטה זו השתמשו בצורה מאד נרחבת בטכנולוגיה של הרדאר, כדי לאגור אינפורמציה.

אגירת האינפורמציה נעשתה בצורה זו: עמוד הכספית היה מלכתחילה קו ההשהייה ששמר על איזה שהוא סיגנל, את סופו כאילו חיברו לתחילתו, והריצו את אותו סיגנל בצורה מעגלית כל הזמן. כל זה בצירוף מעגלים מסויימים נוספים בעזרת מספר קטן של שפורפרות רדיו. באמצעים כאלה ניתן היה לשמור עשרות ומאות מלים, כאשר בכל עמוד כזה היו כ-30 יחידות אינפורמציה.

זה ביטא גידול דרמטי של אפשרויות הזיכרון, ושימש בסיס לתיכנון המחשב החדש.

חידוש רעיוני נוסף - כנראה הודות לפון-נוימן - היה בגישה של תיכנון לוגי מראש לעומת היצמדות לקומפוננטות האלקטרוניות הנתונות.

פון-נוימן-שוב בהשפעתן של עבודות תיאורטיות מסויימות של Pitts ו-cCollough על רישתות עצבים ובעיקר, עבודה מסויימת קלסית ששימשה לאחר שנים גם כבסיס לתורה המתימטית של אוטומטים - הניח הנחת יסוד לגבי המרכיב הלוגי, לגבי היחידה הלוגית הבסיסית, הוא הניח קיום יחידה עם מספר מסויים של Inputs , ובעלת סף הפעלה מסויים. מרכיב זה יופעל בצירוף מסויים של תנאים, קיום מספר גירויים והיעדר עכבות.

מתוך יחידות אלו שפון-נוימן תיאר אותן באופן מופשט, הוא בנה את התיכנון הלוגי של מחשב האדבק, מובן שאחר כך באה רדוקציה מעשית למעגלים וכל הכרוך בכך, עם פיתרון הבעיות הטכניות הקשורות.

בשלב זה, ואולי באופן חלקי גם במחשב שנבנה אחריו, הג׳ניאק, נכנסו גם מושגי יסוד בתיכנות. ברור היה כבר שהתוכנית תהיה תוכנית אגורה, בג׳וניאק למשל, תיכננו את זה בצורה כזאת, שההבחנה בין מספרים (בין נתונים מספריים לבין פקודות) תהיה על-ידי כך, שבעמדה מסויימת בתוך המילה תופיע הסיפרה 1 עבור פקודות והסיפרה 0 עבור נתונים מספריים. אבל, פרט לזה, טושטש לגמרי ההבדל בין פקודות לבין נתונים מספריים.

חידוש אחר אשר נכנס, (חידוש לגביהם, כי הדבר כבר הופיע בעבודתו של בבאג׳ והמתכנתת הראשית שלו, הליידי לובלס), היה באפשרות לבצע קפיצה מותנית, כלומר, ביצוע בדיקה והסתעפות לפי תוצאות הבדיקה לפקודה הבאה, או לפקודה אחרת כל שהיא בתוך סידרת הפקודות.

בהמשך לעבודה על האדבק, התחיל פון-נוימן להתעניין באפשרויות של סוגים אחרים של זיכרון, וצץ הרעיון של הזיכרון האלקטרוסטטי וסביבו תיכנון שיטות חדשות . על-כל-פנים זנחו את ענין קווי ההשהייה האקוסטיים.

תרומה נוספת של פון-נוימן, היתה בתחום התיכנות אבל כאן נראית תרומתו במידה פחותה. היה זה גרעין רעיון שפת-העל לעומת שפת-מכונה.

תהליך התיכנות באותם ימים ראשונים ולמעשה זמן רב לאחר מכן, היה קשה ביותר; התוכניות נכתבו במה שנקרא היום שפת-מכונה, עם כל השיעמום והאפשרות לטעויות הכרוכות בכך.

פון-נוימן התחיל לדבר כבר בתקופה ראשונית ביותר על "שורט קוט" ועל "לונג קוט", על תוכנית קצרה הנכתבת על-ידי אדם ועל תוכנית ארוכה יותר שהיא שפת-המכונה ועל התירגום ביניהם.

אנחנו רואים כיצד הרעיונות אשר הופיעו כבר אצל באבג׳, (קרוב לוודאי שלא היו ידועים לפון-נוימן, עבודת פון-נוימן היתה בלתי-תלויה בעבודה זו) ושלא יכלו להגיע לכלל ביצוע בתקופתו נעשו ברי גישה ומעשיים עם התקדמות הטכנולוגיה.

אין כל ספק, שהתרומה העיקרית בעבודתו של פון-נוימן היתה רעיון התוכנית האגורה, החל מהצורה הפרימיטיבית יותר כפי שהדבר הופיע באניאק - כאן החל הדבר אך ורק אחרי שנכנס פון-נוימן לתמונה - וכלה בצורה המשוכללת יותר כפי שזה הופיע באדבק ובג׳ניאק, במחשבים אלה הגיעו למצב בו התוכנית היתה אגורה, ניתנה לשינויים לטיפולים, ולהזזות, ואף היא נכנסה בתהליך דומה לחלוטין לתהליך הכנסת הנתונים לתוך המחשב, דהיינו, לא בצורה ידנית על-ידי סידור של מתגים שונים אלא באותה צורת קלט רגילה של כל חומר הנכנס לתוך המחשב.

מתוך סקרנות, ערכתי כעין מישאל פרטי בין אנשים שהיו קרובים לפון-נוימן בזמן עבודתו, ביניהם Bigelow Burks שהיה בפרינסטון, הרמן גולדשטיין שכתב ספר מעניין ביותר על ההיסטוריה של המחשבים ואחרים. הנקודה שעניינה אותי היתה קשר אפשרי בין עבודתו וחידושו של פון-נוימן, לבין עבודתו של אלן טיורינג, ואקדיש מספר מילים לאישיות מעניינת זאת.

אלן טיורינג, מתמטיקאי ולוגיקן אנגלי, בא לפרינסטון באמצע שנות ה-30 כאשר פון-נוימן היה במכון ללימודים מתקדמים של פרינסטון כך ששניהם נמצאו שם באותו זמן. היתה ביניהם גם קירבה מקצועית מסויימת, היות ופון-נוימן עצמו התחיל את הקריירה המתימטית שלו בלוגיקה. טיורינג נתן את

דעתו לשאלה, כיצד להגדיר את המושג בפונקציה הניתנת לחישוב. מה מבחין בין פונקציה כל שהיא כפי שהיא מופיעה במתימטיקה כמושג מתמטי, לבין אותן פונקציות אשר ניתנות לחישוב הלכה למעשה על-ידי תכונות אוטומטיות?

טיורינג המציא למעשה מכונת חישוב אשר גם היא, כמו המכונה של באבג׳, היתה מכונת חישוב אוניברסלית. יתרונה של מכונה זו - שלא נבנתה מעולם - היה בכך שלו רוצה היה מישהו לבנותה לא היה נתקל בקשיים העצומים בהם נתקל באבג׳.

אדבר על רעיונו היסודי של טיורינג במספר מלים: זוהי יחידת בקרה קטנה, אשר לה האפשרות להיות באחד מתוך מספר מצבים, ואני לא אגדיר כאן מהו מצב, מחקרים מאוחרים וחריפים יותר על-ידי אנשים כמינסקי הראו, שלמטר אשר בהם היה מעוניין טיורינג ניתן להסתפק בשישה מצבים. יש אפילו הורדו נוספת במספר זה. אם אנחנו לוקחים את המושג הזה של שישה מצבים, ומתרג אותו אפילו לתירגום בינרי בעזרת שפופרות רדיו או טרנזיסטורים, מדובר כז על משהו שניתן לבצעו בעזרת 20 או 30 מרכיבים אלקטרוניים. כמו-כן ניתן גם בקלות לחקותו על-ידי אמצעים מכניים. מכונה זאת פועלת על סרט אין סופי המחולק למישבצות, כאשר הוא מהווה בעת ובעונה אחת כמדיום הזיכרו של המחשב ושטח העבודה אשר עליו נערכים.

פעולתו הבסיסית של המחשב של טיורינג פשוטה בהרבה מאשר הפעולה הבסיסית של מחשב כיום או של המחשב כפי שתיכנן אותו באבג׳.

נראה כיצד פועלת המכונה. נאמר שאנו משתמשים בשיטה הבינרית. המכונה בודקת מישבצת על הסרט, המישבצת מכילה את הערך 1 או 0. לפי מצבה הפנימי באותו רגע ולפי הנתון אותו קראה המכונה במשבצת, היא תשנה את ה-1 ל-0 ולהיפך, או תשאירו ללא שינוי. הבסיס להחלטה היא טבלת התי של המכונה. לאחר בדיקה וטיפול בתוכן משבצת, עוברת המכונה למצב חדש שהוא תוצאה ממצבה הקודם של המכונה ומקביעתה. את המצב החדש מלווה תזוזת הסרט ימינה או שמאלה.

על-ידי אנליזה מבריקה, הוכיח טיורינג שמכונה פשוטה מעין זו, בתנאי שתכיל יחידת בקרה עשירה למדי - ומתברר כיום ששישה מצבים וודאי שאינם בחזקת עושר מופרז - יכולה לבצע כל חישוב אשר ניתן עקרונית לחישוב על-ידי איזו שהיא מכונה אוטומטית.

ההבדל או החיסרון החמור במודל של טיורינג, אשר לכשעצמו ניתן היה לביצוע אפילו בזמן של באבג', הוא בכך שהחישובים הללו היו לוקחים זמן בלתי-סביר, עשרות או מאות שעות עבור חישוב פשוט למדי.

המודל איננו מודל ריאלי, הענין במודל זה להיסטוריה של המחשבים הוא משפט כללי אשר הוכיח טיורינג ואשר קשור לכך שאפשר להיסתפק במכונה אחת בת שישה או שיבעה מצבים. הוא הוכיח את קיומה של מכונה אוניברסלית, בלשון המודרנית שלנו General purpose computer. טיורינג הראה שלגבי כל בעיית חישוב הניתנת לפיתרון באמצעים של מכונה אוטומטית, אנחנו יכולים לכתוב תוכנית עבור המכונה האוניברסלית, כך שתוך התייחסות לתוכנית הזו, תבצע המכונה האוניברסלית את החישוב הנדרש.

פון-נוימן הכיר עבודה זו, וברור שכאן, נמצא מושג התוכנית האגורה (STOREPROGRAM) בצורה הברורה ביותר. נמצא גם הרעיון האחר, התוכנית עצמה אגורה, שוב כסידרת אפסים ו-1 ולכן אף נראית בדיוק כמו הנתון הרגיל אשר עליו מבצעים חישובים.

אנשים הקרובים לפון-נוימן, הרגישו שאצלו לפחות החידוש של התוכנית האגורה היה קשור בעבודתו של טיורינג. מעניין יהיה לראות מה אומר על כך הרמן גולדשטיין, בספרו על ההיסטוריה של המחשבים.

מזווית אחרת, וכך אומר גם Burks, השפיע רעיונו של טיורינג על ניסוח הרעיון של שפת-העל. טיורינג שם מילה על הסרט כדי שבעזרתה תבצע המכונה חישוב נתון, אנחנו יכולים לבנות את הדבר בצורה כזו, שמילה זו תינתן לכתיבה בצורה פשוטה, כלומר, היא כאילו שפת-על לתיכנון. אחר-כך מתרגם המחשב את התוכנית הזו לתוכנית מפורטת יותר, כדי לבצע את החישוב הנדרש. כלומר, בפירוש מתאים נראה כי גם רעיון זה נמצא בצורה בסיסית בעבודתו של טיורינג.

אם ישאלו אותי, מה הם השמות אשר יש סיכוי שיוזכרו בהיסטוריה של המתימטיקה בעוד 200 שנה - וחיו כמובן בדורנו מתמטיקאיים חריפים ביותר כמו הילברט וינר ואחרים - אני הייתי מוכן להתערב על כך שהשמות יהיו של פון-ניומן וטיורינג.

אני רוצה לומר מספר מלים בנושא "המבט לעתיד", ושוב, בצורה של שאלות בלבד. אינני מוכן להתנבא שבעוד עשר שנים יעשו כך או כך בתחום המחשבים זה מסוכן למדי מפני שבהחלט ייתכן שמישהו יבוא ויזכיר לי את דברי אלה.

ברצוני לרכז את הערותי בתחום התוכנה, לעומת תחום הציוד, שדובר בו מקודם. אני חושב שענף המחשבים, או אפילו תעשיית המחשבים עומדת כעת בפני פרשת דרכים. אנחנו רואים כאן תופעה של קפיצה טכנולוגית עצומה קדימה. ישנה הרגשה שמחיר מרכיב הציוד (בניגוד לכל תעשיה ומוצר כמעט) נופל באופן דרמטי בד בבד עם עליה דרמטית ביכולתו.

אם למשל תעשו חישוב כמה עולה היום לאגור bit לעומת מחיר אגירה באניאק, בו צריך היה לשם כך שפופרת רדיו, אז תראו במה מדובר. אולי אלה שמוכרים את המחשבים, דואגים לכך שהמחיר יעלה יותר ויותר, אבל לפי היכולת של המחשבים המתוגברת, זה נעשה באופן יחסי זול יותר.

לכל הדעות, צפויות כאן התפתחויות עצומות, וגם בחוגים שבהם הסתובבתי בביקורי בארצות-הברית רווחת הרגשה זו. אומרים לאנשים שמתכננים דברים מסויימים: תניחו הנחה שמעגלים מסויימים עם זיכרון בסופו של דבר יעלו עשירית או מאית ממה שהם עולים היום. לכן אפשר יהיה לבנות זכרונות בקנה מידה הרבה יותר גדול. חידושים אחרים יהיו במהירות המעגלים וכיוצא בזה.

מכאן גם נובע שבעיות מסויימות בתיכנון לוגי ובעיות אחרות בתוכנה, (כמו בעיית תוכניות הפעלה, שכיום היא צרה צרורה ומעסיקה ובצדק, את האנשים) יבואו לכלל פתרון מניח את הדעת.

לכן ההנחה היא שיהיו בידינו מחשבים משוכללים ביותר, והשאלה היא, מה יעשה בהם?

עכשיו, נמצאת תעשיית המחשבים במבוכה מסויימת, מפני שבארצות המתפתחות מאד חדרו המחשבים לתחומים רבים של החיים אשר קל היה לחדור אליהם. בתקופה שלאחר המצאת החשמל, קל מאד היה להמציא המצאות. יכולנו לקחת כל מילה ולצרף אותה לחשמל. האפשרויות היו אין סופיות. דבר זה בא לידי מיצוי. כיום כבר יותר קשה להמציא משהו חשמלי אף שעושים זאת מפעם לפעם.

באותו אופן כמו החשמל חדרה טכנולוגיית המחשבים לתוך חלל מסויים. היישום הראשון והברור ביותר מבחינה היסטורית היה ביצועם של חישובי ענק שאי-אפשר היה לחלום עליהם מקודם. בעיות בהידרו-דינמיקה, בהנדסה, במדע, בפיזיקה אטומית וכו'. זה היה הדבר הברור ביותר.

חדירה חשובה נוספת עוד יותר היתה בתחום עיבוד הנתונים. וכאן ראינו למשל הכנת משכורות על-ידי מחשב, וכל השימושים לעיבוד נתונים.

תחומים אחרים שהיו קצת פחות פשוטים, אבל בכל זאת היתה גישה אליהם, היו חדירת המחשב לתהליך הסידור והדפוס. היו שם בעיות אבל הבעיות הגיעו לפיתרון והדברים האלה נעשו. וברור שכיום עדיין איננו נמצאים בתקופת החשמל כאשר באמת כמעט ומיצו את הכל. ברור שהאדם יכול לחשוב על שירטוט מפות מסויימות, שירטוט מפות טופוגרפיות, צילומים בעזרת מחשב, ענינים של תיכנון בעזרת מחשב ועוד כהנה וכהנה, השימושים עדיין קיימים.

בכל זאת מתעוררת הבעיה, מהו ההמשך? רבים מהדברים הבסיסיים ביותר מוצו; והדברים הנוספים לא יבואו על פתרונם אלא אם כן תהיינה פריצות דרך נוספות בתחום מדעי-המחשב.

השלב הבא של יישום מחשבים הוא בתחומים שבאופן מובהק היו בידי אדם ושלא כל כך ברור שניתן להחליף שם את האדם במחשב. וזהו שלב שנחשב על-ידי רבים, ובצדק, לקצת מפוקפק וזהו תחום האינטלגנציה המלאכותית. בתחום זה היו הבטחות גדולות, וכשלונות כגודל ההבטחות.

ובכן, דיברו על תירגום מכני במשך שנים והשקיעו בדבר עשרות מיליונים. אינני חושב שלבעיה כולה אפילו אם היתה נפתרת היתה חשיבות כלכלית כה

מרובה. אינני יודע מדוע, אך הדבר נעשה. זה נעשה גם כבעיית מבחן והתוצאות היו דלות למדי.

אבל, על-אף האכזבות הללו, על-אף העבודה הרבה שלא היתה כה מוצלחת, אין ספק שחדירה עמוקה ונוספת של מחשבים לתחומים נוספים של החיים, תהיה קשורה בפיתרון בעיות מסוג זה.

ייתכן שאין להתחיל מהשיטות היומרניות של חיקוי תהליך המחשבה האנושי שהוא כשלעצמו לא מובן לנו, אלא מפתרונות חדשים מיוחדים למחשב של הבעיות הללו.

אנחנו פותרים את בעיית התנועה על-ידי הליכה ברגליים, אבל כשאנו מדברים על מכונות אנחנו פותרים את בעיית התנועה וההתקדמות על הקרקע על-ידי הגלגל. הפיתרון שונה לגמרי ואפילו, מבחינות מסויימות, יותר מוצלח. ובכן, כאן איננו מבינים את תהליך המחשבה האנושי והמחשב איננו מוח אנושי. ייתכן שהפתרונות יהיו מסוג אחר, על-ידי ניצול מרכיבים אחרים של המחשב, למשל את מהירותו העצומה בחישובים.

אני אפתח בכמה דוגמאות מדברים אשר נהגו לעשותם בצורה ידנית והמחשב מתחיל להיות מסוגל לעשותם.

למשל, בעיה הקרובה לי, בעיה של הרכבת מערכת שעות והקצאת חדרים שעות מרצים וכו׳ בתוך מוסד גדול כבית-ספר או כאוניברסיטה. בעיה לגמרי לא פשוטה, באוניברסיטה יש מספר פקידים שזהו עיסוקם. חישבו על כל הצירופים שמופיעים בענין זה, מרצה פלוני רוצה להרצות לא לפני 9.00 בבוקר (כשהסטודנטים יגמרו איתנו, נרצה גם ב-7 אבל לעת עתה הוא לא רוצה לפני 9 בבוקר), הרצאה זו היא בימים א׳ ג׳ וה׳ ואם אתם לא מתכננים זאת טוב אתם יכולים לגרום לכך שלא כל חדרי האוניברסיטה ינוצלו. אם גם נחשוב על כך שכל מטר מרובע עולה 2,000 ל״י בבניה, אז זהו באמת דבר חמור ביותר. ובכן, זה נראה דבר פשוט להכניס מחשב והמחשב ייתכנן את התוכנית עבורנו.

כשמתחילים להתבונן על הבעיה הזו הלכה למעשה רואים שהדבר קשה ביותר. עבדו על הענין הזה מספר שנים, ולא ברור אם יש פיתרון מדוייק לבעיה. יש אמנם אנשים הטוענים לכך והשיטות כיום אמנם טובות יותר, זה נעשה בשיטות של חישובים ונסיונות מודיפיקציות וכך הלאה.

אתן לכם שאלה אחרת שגם מעניינת חלק מאיתנו. סידור תוכנית נסיעות, אתם באים כיום אל סוכן נסיעות ומספרים לו שברצונכם לנסוע לחוץ-לארץ, מפה לרומא, ולאמסטרדם וכך הלאה, לשהות פה כך וכך, ויש בעיה של תוכניות אוירונים, גישור בין אוירונים ורכבות ורזרבציות בבתי-מלון וכך הלאה. סוכני נסיעות עושים את זה כיום, במידה רבה מאד של אי-הצלחה, כפי שכל נוסע יודע. ובכן כאן, זה דבר לגמרי לא מכני, יש פה כל מיני שיקולים וכל מיני התאמות שצריכים לבצע אותם. האם לא היה זה תהליך שניתן למיכון לו אפשר היה לכתוב תוכנית מוצלחת לענין זה? ושוב בלי לפתור את הבעיות היסודיות של איך עושה זאת אותו פקיד במשרד נסיעות. אולי מוטב שלא לדעת איך הוא עושה זאת לשם פיתרון באמת מוצלח של הבעיה.

אבל זוהי באמת רק ההתחלה, זהו רק צעד אחד קדימה, נתתי לכם דוגמאות של בעיות שיש אולי סיכוי לפתור אותן. אני רוצה להעלות שאלה אחרת לגמרי בתחום התוכנה, ושוב חדירות אפשריות נוספות של מחשבים לתחומי חיים נוספים.

ישנה שאלה שאנשים אוהבים לחשוב עליה והיא: האם בעוד 15 או 20 שנה יהיו עדיין מתכנתים או לא, זה אולי מעניין הרבה אנשים כאן.

ישנה הרגשה שאפשר לפתח כאן שתי תזות שונות זו מזו לחלוטין, שני מודלים שונים זה מזה לחלוטין. תזה ראשונה היא: שהמחשב יחדור לכל תחומי החיים, ולכן בכל מקום בכל משרד יהיה מישהו שמיקצועו מהנדס תוכנה, הוא יישב, יכתוב תוכניות ויעשה שימושים במחשב וכו׳. תזה שניה היא: שחברות הענק תחשבונה על כל השימושים האפשריים, חברות הענק אשר ההכנסות שלהם מייצור ציוד תלכנה ותקטנה, מפני שהדברים האלה יגיעו לכלל ייצוב, יעסיקו צוותי ענק של מתכנתים, אומנם, עדיין מספר רב של אנשים, אבל נאמר באלפים ולא

בעשרות או מאות אלפים, הם ייעזרו בעצמם על-ידי מחשבים.

תיבנה תוכנית לכל סיטואציה אפשרית כך שבעל משרד קטן יהיה לו מחשב, או שיהיה קשור לאיזו רשת מרכזית, יאמר למזכירתו איזו עבודה יש לבצע. וזו תוציא את הסרט המגנטי, אשר לכל היותר יהיה טעון שינוי אחד או שניים. תשימו על כונן מגנטי וזה יהיה הכל. גדודי המתכנתים הללו, אותם צפינו לפי התיזה הראשונה לא יהיו קיימים או נחוצים.

אחד הדברים שיצרני המחשבים היו שמחים עליו מסיבות מובנות, הוא, לו היה מחשב בכל משק בית, וכאן מתעוררת שאלה אחרת שאף היא קשורה לשאלה של אינטלגנציה מלאכותית ומעוררת שתי בעיות:

הראשונה היא שאנחנו לא יודעים בדיוק מה הם השימושים האפשריים של מחשב בתוך משק בית. יש כמה דברים ברורים של הנהלת חשבונות ודברים כאלה. אולי סוף סוף נבין את תלוש המשכורת שלנו. אפשר לשמור על משק הבית בצורה מסודרת בעזרת כלי כזה, אם יודעים כיצד לעשות זאת. אפשר להמשיך כהנה וכהנה. אבל הדברים לא ברורים. בין עקרת-הבית ובין המחשב הזה צריכה להיות תיקשורת מסויימת, וזה מעלה מספר נושאים שאני יודע שעובדים עליהם.

האחד הוא, פיענוח דיבור על-ידי מחשב, זהו אחד מהנושאים הקשים והינו גם כבד ביותר מבחינה כלכלית. וכאן שוב מתעוררות בעיות היסוד שאף איננו יודעים כיצד לגשת אליהן. אפשרות אחרת, שעקרת-הבית באמת תשתמש באיזו מכונת כתיבה ותכתיב איזו שהיא תוכנית לתוך המחשב, איזו שהיא סידרה של שאלות ופקודות וכיוצא בזה. אין לצפות ממנה שתעשה זאת באותה זהירות של המתכנן המקצועי. כלומר, ייתכן למשל מצב בו לא יהיו מתכנתים מקצועיים פרט לאלה שמאחורי הקלעים אבל אנשים רבים מאד יעסקו בתיכנות בצורה מאד לא נקיה ולא מסודרת.

הבעיה היא פיתוח כלים לעשיית Compiling של הדברים כך שאפשר יהיה להפוך אותם מהצורה הלא מסודרת אשר בה הם נכנסים אל תוך המחשב למשהו שהמחשב יוכל לפעול לפיו בצורה הרגילה.

שאלה אחרונה וגם כאן זו אולי קצת יותר שאלה של ציוד מאשר של תוכנה. לא ברור כיצד יראה המצב: האם אלפי מחשבים קטנים יהיו פזורים במשרדים ובבתים או שציוד תיקשורת שיעבוד בחלוקת זמנים, יתחבר אל רשת מרכזית גדולה של מחשבי ענק.

התשובה לשאלות אלו תלויה מאוד במחירי הטכנולוגיה ובאמינות הציוד. וודאי זה נוח מאד שיהיה מחשב קטן בבית אך אם תדירות התקלות תהיה כפי שהיא כיום ויהיה צורך להביא טכנאי לתקנו כדאי יהיה לשקול פעם נוספת את כדאיות הכנסתו אפילו במחיר זול.

אני אסתפק אם כך, בזריקת שאלות ואפשרויות האלו, באם היו"ר יחליט עוד על ויכוח וודאי תהיינה שאלות ותשובות.

<u>פרופ' חנני חיים (מנחה)</u>- תודה רבה לפרופסור רבין. ונפתח בוויכוח. אני אינני מצפה לתשובות רבות לשאלות שהציג פרופסור רבין בפנינו. אבל אולי יש שאלות נוספות ואם כי השעה כבר מאוחרת, רצוי שנשמע אותן, אם כי אינני יודע אם אפשר יהיה לענות עליהן.

<u>שאלה - אמיר זוננפלד</u> - אני רוצה להתייחס לטענה שייתכן שדברים מסויימים שבעת נעשים רק בידי אדם, עלולים בעתיד להתבצע על-ידי מחשבים, אבל כמובן לא באותה שיטה כפי שמוח האדם עושה אותה. כלומר, לנצל תכונות מיוחדות של מחשבים. האם לא ייתכן שחקירה מתקדמת של מוח האדם, כלומר, גילוי התופעות הפיזיות וכימיות המתרחשות בתוכו יתנו תנופה יותר גדולה וישנו בכלל את הטכנולוגיה של המחשבים כך שבסופו של דבר המחשב יפעל בדיוק כפי שמוח האדם פועל אם אי-פעם יגלו את פעולתו.

תשובה - פרופ' מיכאל רבין - אני בהחלט מסכים שהדבר אפשרי. באופן עקרוני לא שללתי את האפשרות שהמחשב, אפילו בצורתו הנוכחית, יפעל מבחינה הגיונית כפי שאדם פועל. אבל אני מדבר מתוך מסגרת של הטכנולוגיה של היום ואנחנו יודעים מעט מאד על מוח האדם, למשל, אנחנו יודעים מעט מאד על הגודל האמיתי של מוח האדם מבחינה לוגית, לא ברור למשל, אם אגירה בזיכרון נעשית ברמה מולקולרית, והיו השערות שה-.R.N.A אוגר זיכרון בתוך התא. או אם האגירה בזיכרון נעשית על-ידי קשרים בין תאים ועל-ידי חיבורים.

כל זמן שאנו לא יודעים את התשובה לשאלות היסוד, לא ניבנה מחשבים בצורה כזאת. ייתכן, שביום אחד, וכאן מדובר לדעתי על טווח יותר רחוק מאשר אפילו 50 שנה, זה כן יהיה כך.

פרופ' חנני חיים - מנחה - האם יש עוד שאלות, אם כן אני מודה עוד פעם למרצים, לפרופ' רוכמן ופרופ' רבין, אני מודה להנהלת איל"א שאירגנה את הערב הזה, ולכל האורחים שכיבדו אותנו בנוכחותם. תודה רבה.

CONTENTS

P.O. Box 13009
Jerusalem, Israel

Printed at 'Graphics' Ltd. Jerusalem

Computers - Retrospect and Prospect

Lectures dedicated to the memory of Charles Babbage
a century after his death

Editor

ALON GILLON

IPA—Information Processing Association of Israel/Jerusalem

IPA Publications
General Series

Volume 12

Vol. 1 – International Symposium on Data Processing, 1968
Vol. 2-3 – Computational Linguistics, 1969
Vol. 4 – Computers and Medicine in Israel, 1970
Vol. 5 – Personnel Management, 1971
Vol. 6 – The Computer in the Banks' Service. 1971
Vol. 7 – Personnel in Computers' Service, 1971
Vol. 8-9 – Mini Computers, 1972
Vol. 10 – Physical and Managerial Control Model, 1972
Vol. 11 – Data Collection. 1973

Computers -

Retrospect and Prospect